

*А.С. КОПТЯЕВА*, магистр, НТУ “ХПИ”, Харьков

*В.А. ПУЛЯЕВ*, д-р техн. наук, проф., зам. директора, Институт ионосферы, Харьков

## **ВЫБОР РАЗРЯДНОСТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

Аналізуються похибки, які виникають при аналого-цифровому перетворенні шумоподібного сигналу та залежать від кількості розрядів АЦП на виході радіоприймального пристрою радіолокатора некогерентного розсіяння.

Анализируются погрешности, возникающие при аналого-цифровом преобразовании шумоподобного сигнала и зависящие от числа разрядов АЦП на выходе радиоприемного устройства радиолокатора некогерентного рассеяния.

Errors that arise up at analog-digital transformation of incoherent scatter signal are examined, dependency upon the amount of digits of ADC on the exit of receiver device of incoherent scatter radar.

**Постановка задачи.** Расчет корреляционных функций сигнала, некогерентно рассеянного ионосферой [1], предваряется операцией квантования в АЦП поступающего напряжения. Выбор количества уровней и частоты квантования сигналов при цифровой обработке осуществляется с учетом того, что распределение мощности сигнала вдоль развертки дальности (высоты) меняется в большом диапазоне. При этом шаг по уровню и период квантования задают сложность корреляционных устройств радиолокатора, а также его возможность обработки данных в реальном масштабе времени.

В настоящее время цифровая обработка производится с помощью быстродействующих вычислительных средств – препроцессоров, скорость преобразования данных в которых существенным образом замедляется при увеличении разрядности поступающих данных.

Цифровые предпроцессоры – коррелометры – использовались ранее и сейчас используются в системе обработки радара некогерентного рассеяния (НР) Института ионосферы [2]. Их эксплуатация требует тщательного контроля ряда параметров, связанных с метрологическими характеристиками АЦП. Эти характеристики связаны с эффектами, возникающими при квантовании входного сигнала, в результате чего появляются шумы квантования. Также может оказаться несоответствующей амплитуда сигнала по отношению к величине разрядной сетки АЦП, произойти изменение со временем величины этой разрядной сетки.

Таким образом, **целью статьи** является рассмотрение ошибок при выборе количества уровней квантования сигнала некогерентного рассеяния, а именно такого количества уровней, когда при минимально возможных разрядностях данных (а значит – при небольших объемах корреляционной системы обработки) отсутствовали бы значительные статистические погрешности накопления результатов во времени.

**Решение задачи.** Так как при цифровой обработке [3, 4] к вопросам, возникающим при аналого-цифровом преобразовании сигнала на выходе радиоприёмного устройства является способ преобразования этого сигнала. Так как от решения этого вопроса существенно зависит структура устройств обработки в целом, рассмотрим особенность сигнала рассеяния, принимаемого на фоне шумов.

Соотношение сигнал/шум зависит от состояния ионосферы и помеховых составляющих, интенсивность которых определяется состоянием антенны и наличием внешних, не ионосферных источников. Распределение мощности сигнала по развертке дальности таково, что отношение  $P_c/P_{\text{ш}}$  меняется в большом диапазоне, от 0,01 до 10 и больше. Это обстоятельство главным образом и определяет количество уровней при преобразовании сигнала. Обычно число уровней для сигнала, принимаемого в конце радиолокационной развертки дальности, выбирается количеством  $n = 50$  и больше. При этом для сигнала рассеяния, поступающего с максимума ионизации, число уровней может достигать значений  $n = 1000$ . Частота квантования в это время определяется необходимой скоростью преобразования данных и связана с количеством ординат корреляционной функции (обычно их около 20), которые должны быть равномерно распределены на интервале задержек  $\tau$  от 0 до 600 мкс. В результате период следования тактовой частоты, предназначенной для АЦП, выбирают длительностью около 30 мкс [5, 6].

На рис. 1а на примере моделирования процедуры преобразования гармонического сигнала показано изменение его формы при аналого-цифровом преобразовании с разным количеством уровней (2, 3, 9 и 17).

Можно видеть, что погрешности преобразования сигнала при таком варианте оцифровки из-за проявляющих свой характер нелинейных областей динамической характеристики АЦП тем больше, чем меньше используемых уровней квантования. И хотя при небольшом количестве уровней квантования интерпретация результатов измерений спектра или корреляционных функций сигнала НР усложняется, но с другой стороны, появляются возможности значительных аппаратных упрощений структуры процессора.

Способ уменьшения количества уровней квантования целесообразен в следующем случае.

Так как сигнал НР представляет собой случайную функцию времени, то для его обработки используются статистические методы анализа. Исходя из этого, более правомерным является подход, когда рассматривается не

степень искажения формы сигнала, а приближение результатов его корреляционной обработки к некоторым теоретическим показателям.

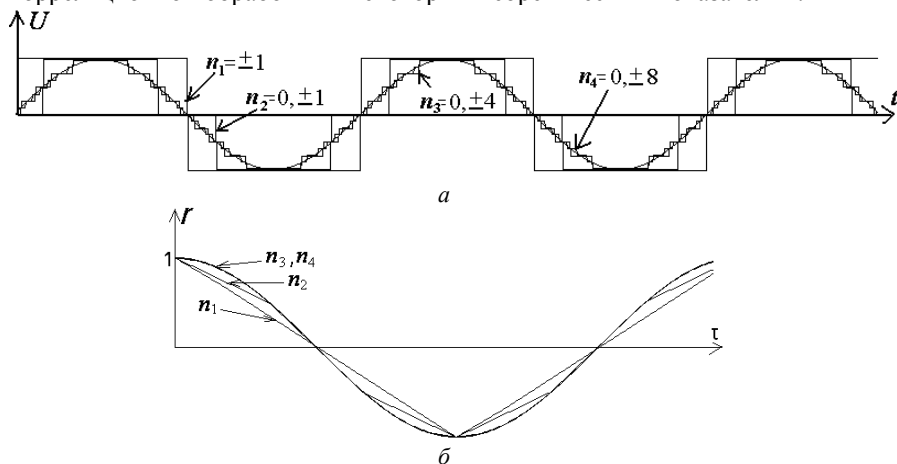


Рис. 1. Изменение формы гармонического сигнала при различных вариантах его цифрового преобразования (а) и ошибки последующей корреляционной обработки (б)

Естественным условием измерений оценок случайных стационарных процессов является использование значительного по продолжительности времени наблюдения процесса. Обработка сигнала – нахождение его корреляционных характеристик – происходит на протяжении некоторого времени, соответствующего длительности сеанса накопления корреляционных данных (вплоть до 15 мин).

На рис. 1б показаны результаты моделирования [7] такой корреляционной процедуры по отношению к гармоническому сигналу, преобразованному в разных АЦП, имеющих отличающееся количество уровней дискретизации. С целью минимизации погрешностей задано длительное время накопления информации. Как можно видеть, искажение формы сигнала за счет малого количества уровней не вызывает заметного искажения корреляционных функций даже в случае уменьшения значений уровня до  $n_3 = 9$ .

Чтобы проверить поведение корреляционной системы в случае обработки шумоподобного сигнала, на рис. 2 представлено искажение формы реального сигнала рассеяния (а) при разных вариантах преобразовании его в цифровой вид, а также корреляционные функции (б) для периода накопления, соответствующего времени работы коррелятора на протяжении сеанса длительностью 5 мин. Можно отметить, что и для такой формы входного сигнала и при имеющих место неточностях его цифрового преобразования при получении конечного результата в виде корреляционных функций погрешности достаточно малы.

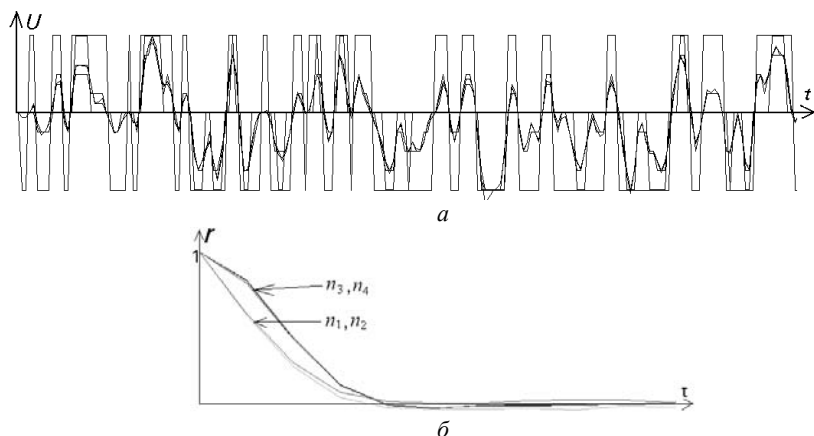


Рис. 2. Сигнал рассеяния на выходе радиоприемного устройства (а) и его корреляционные функции (б) при разном количестве уровней аналого-цифрового преобразования

**Выводы.** Статистический метод обработки дает возможность сокращения количества разрядов, используемых во время цифрового преобразования сигналов, в том числе при обработке шумоподобного сигнала рассеяния. Потеря точности последующего корреляционного представления этого сигнала при рациональном выборе числа уровней преобразования может быть незначительной, поэтому на выходе радиоприемного устройства вполне можно использовать АЦП с числом разрядов до  $n = 100$ . Как результат, резко сокращается общий объем информации, которая должна быть обработана в корреляционной системе, а значит – упрощается ее структура и появляется возможность расчета параметров ионосферной плазмы в реальном масштабе времени.

**Список литературы:** 1. Рогожкин Е.В., Пуляев В.А., Лысенко В.Н. Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния. Монография. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2008. – 256 с. 2. Рогожкин Е.В., Пуляев В.А. Система обработки некогерентно рассеянного сигнала // Вестник ХПИ: Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. – 1989. – № 276, вып. 7. – С. 24 – 30. 3. Гитис Э.И., Пискунов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 360 с. 4. Аналого-цифровое преобразование / <http://ru.wikipedia.org/wiki>. 5. Коптяева А.С., Пуляев В.А. Особенности цифрового преобразования ионосферных сигналов // Сб. тезисов конф. молодых ученых “Дистанционное радиозондирование ионосферы”. – 2010. – С. 18. 6. Коптяева А.С., Пуляев В.А. Учет функциональных особенностей аналого-цифрового преобразования сигнала некогерентного рассеяния // Вестник НТУ “ХПИ”: Радиофизика и ионосфера. – 2010. – № 48. – С. 106 – 109. 7. Коптяева А.С., Пуляев В.А. Выбор разрядности аналого-цифрового преобразования сигнала некогерентного рассеяния // Сб. тезисов конф. молодых ученых “Дистанционное радиозондирование ионосферы”. – 2011. – С. 24.

Поступила в редколлегию 01.07.11